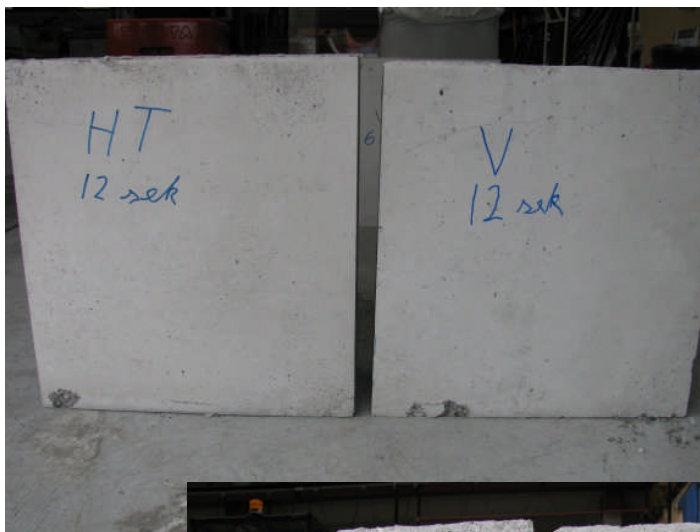




Áhrif þjálni og tíðni titrara á einsleitni steypu



Helgi Hauksson
september 2009

Styrkt af:

Steinsteypunefnd
B.M.Vallá ehf
Steypustöðinni ehf



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands



| | |
|---|-----|
| Efnisinnihald | bls |
| INNGANGUR | 2 |
| FRAMKVÆMD | 2 |
| Áfangi 1..... | 2 |
| Áfangi 2..... | 3 |
| Áfangi 3..... | 5 |
| Áfangi 4..... | 7 |
| NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA | 7 |
| Þrýstipól og þrúmþyngd..... | 7 |
| Fjöldi loftbólna á flötum..... | 11 |
| Mat á aðskilnaði..... | 11 |
| Áhrif víbrunar á frostpól..... | 13 |
| MAT Á NIÐURSTÖÐUM | 14 |
| Aðskilnaður við hátt sigmál..... | 14 |
| Loftbólur á yfirborði..... | 15 |
| Áhrif þjöppunar á styrk steypunnar..... | 15 |
| Samanburður sívalninga og kjarna..... | 16 |
| Hátíðni og venjulegir víbratarar..... | 17 |
| Áhrif víbrunar á frostpól..... | 19 |
| SAMANTEKT | 20 |



1.0 INNGANGUR

Markmið þessa verkefnis er að rannsaka áhrif vibrunar á einsleitni steypu, loftbólur í yfirborði, og reyna að meta hvort hætta sé á að venjulega C 25 steypa sem lögð er í vegg aðskilji sig ef sigmál hennar er komið yfir 200 til 220 mm.

Einnig var markmið að gera samanburð á tveimur gerðum af steypuvíbratorum. Annars vegar venjulegum víbratorum og hins vegar hátíðnivíbratorum. Reynt yrði að meta hvort munur yrði á aðskilnaði fylliefna, fjölda loftbólna á veggflötum, og einnig hvort munur yrði á þrýstiholi og rúmþyngd borkjarna úr veggjunum eftir því hvor gerð af víbratorum væri notuð.

Þessari rannsókn var skipt upp í fjóra áfanga og voru áfangar 1-3 gerðir hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands, en áfangi 4 var gerður hjá B.M.Vallá ehf og sá hluti skýrslunar sem viðkemur þeim áfanga unnin í samvinnu við Einar Einarsson hjá B.M.Vallá.

2.0 FRAMKVÆMD

Rannsóknin var gerð í fjórum áföngum þar sem steipt var í alls sextán veggum úr krossviðarmótum í stærð 500x600x180 mm (hæð, lengd, þykkt) og 500x600x120 mm (áfangi 4). Steypa var fengin bæði frá B.M.Vallá ehf og Steypustöðinni ehf og höfð með mismunandi þjálni (sigmáli). Hvert veggjar, þ.e. sama sigmál, var víbrað með sitt hvorri gerð af víbratorum.

2.1 Áfangi eitt

Blönduð var C 25 steypa hjá B.M.Vallá ehf með sigmáli 90 mm og loftmagni 8%. Þessi steypa var sett niður í tvo vegg og annar veggurinn víbraður með venjulegum víbrator en hinn veggurinn með hátíðnivíbrator. Í báðum tilfellum var víbratorunum stungið niður 150 mm frá öðrum veggenda og víbrunartími var 6 sek. Eftir þetta var floti bætt í steypuna þar til sigmál var komið í 220 mm en við það jókst loftmagn í 8,8%. Steipt var í seinni tvo veggina á nákvæmlega sama hátt og áður nema víbrunartími var 5 sek.

Jafnframt voru tekin sýni (100x200 mm sívalningar) úr steypunni, bæði með sigmáli 90- og 220 mm. Þrjár sívalningar voru fylltir í lögum og pikkaðir en aðrir þrjár voru fylltir í einu lagi án þess að pikka steypuna. Þetta var gert fyrir bæði sigmálin, þ.e. alls tólf sívalningar. Bæði veggirnir og sívalningar voru settir í rakaklefa við 20°C daginn eftir að þeir voru steiptir.



Úr hverjum vegg voru boraðir sex kjarnar. Staðsetning borstaða var valin þannig að þrír kjarnar voru boraðir í sömu lóðréttu línu og víbratornum hafði verið stungið niður, en hinir þrír í lóðréttri línu 150 mm frá hinum veggendanum. Efstu kjarnarnir í hvorri línu voru teknir 100 mm frá efri brún veggjar, mið kjarnarnir voru teknir í miðjum vegg, og neðstu kjarnarnir 100 mm mælt frá neðri brún veggjar (sjá mynd 1).

Áður en kjarnarnir voru boraðir var áætlaður á hverjum veggfleti fjöldi bólna stærri en 5 mm í þvermál.

Veggir með sigmáli 220 mm voru sagaðir lóðrætt nálægt borgötunum í þeim tilgangi að sjónmeta hvort aðskilnaður hefði orðið í steypunni eftir að búið var að leggja hana niður og víbra (sjá mynd 4).



Mynd 1. Veggur í áfanga eitt með sigmáli 90 mm og víbraðurí 6 sek með venjulegum vibrator. Víbratornum var stungið niður í vegginn þar sem svarta lóðréttu línan er. Rauðu hringirnir sýna hvar kjarnarnir voru boraðir úr veggjunum.

2.2 Áfangi tvö

Blönduð var C 25 steypa hjá Steypustöðinni ehf. Byrjað var á að blanda floti í steypuna þar til sigmáli var komið í 220 mm og loftmagni 10%. Þessi steypa var sett niður í tvo veggir og annar veggurinn víbraður með venjulegum víbrator en hinn veggurinn með hátíðnivíbrator. Í báðum tilfellum var víbratorunum stungið niður 150 mm frá öðrum veggenda og víbrunartími var 6 sek með venjulegum víbrator en rúmar 7 sek með



há tíðnivíbratornum. Eftir þetta var floti bætt í steypuna þar til sigmál var komið í 245 mm en þá mældist loftmagn í 11%. Steypt var í seinni tvo veggina á nákvæmlega sama hátt og áður nema víbrunartími var í báðum tilfellum 6 sek.

Jafnframt voru tekin sýni (100x200 mm sívalningar) úr steypunni, bæði með sigmáli 220- og 245 mm. Allir sex sívalningarnir (fyrir bæði sigmálin) voru fylltir í lögum og pikkaðir. Bæði veggirnir og sívalningar voru settir í rakaklefa við 20°C daginn eftir að þeir voru steypdir.

Úr hverjum vegg voru boraðir fjórir kjarnar. Staðsetning borstaða var valin þannig að tveir kjarnar voru boraðir í sömu lóðréttu línu og víbratornum hafði verið stungið niður, en hinir tveir í lóðréttri línu 150 mm frá hinum veggendanum. Efstu kjarnarnir í hvorri línu voru teknir 100 mm frá efri brún veggjar og neðstu kjarnarnir 100 mm mælt frá neðri brún veggjar (sjá mynd 2).

Áður en kjarnarnir voru boraðir var áætlaður á hverjum veggfleti fjöldi bólna stærri en 5 mm í þvermál.

Allir þessir veggir voru sagaðir lóðrétt nálægt borgötunum í þeim tilgangi að sjónmeta hvort aðskilnaður hefði orðið í steypunni eftir að búið var að leggja hana niður og víbra (sjá mynd 5).



Mynd 2. Veggur í áfanga tvö með sigmáli 245 mm og víbraður í 6 sek með há tíðni vibrator. Vibratornum var stungið niður í vegginn þar sem svarta lóðréttu línan er. Rauðu hringirnir sýna hvar kjarnarnir voru boraðir úr veggjunum.

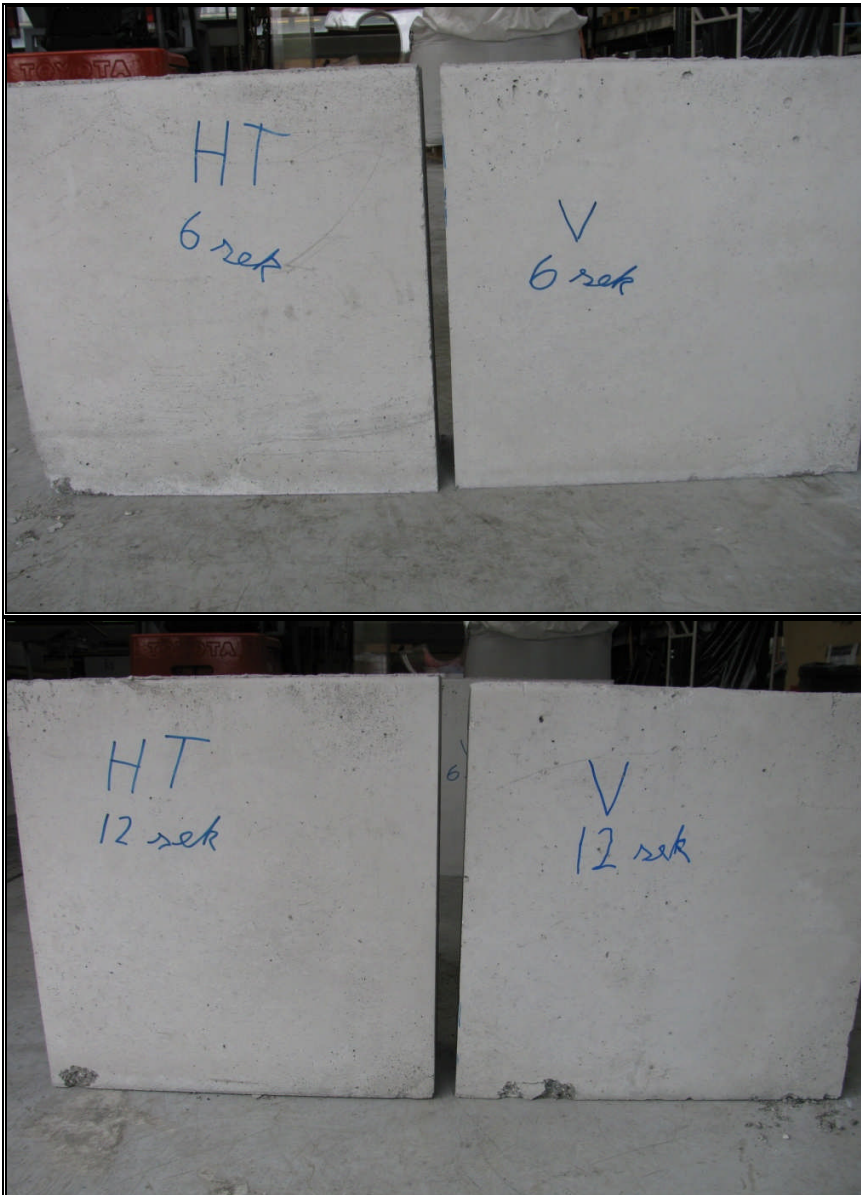


2.3 Áfangi þrjú

Blönduð var C 25 steypa hjá B.M.Vallá ehf með sigmáli 250 mm og loftmagni 8%. Þessi steypa var sett niður í tvo veggj og annar veggurinn víbraður með venjulegum víbrator en hinn veggurinn með hátíðnivíbrator. Í báðum tilfellum var víbratorunum stungið niður 150 mm frá öðrum veggenda og víbrunartími var 6 sek. Steypt var í seinni tvo veggina á nákvæmlega sama hátt og áður (sama sigmál) nema víbrunartími var aukinn í 12 sek. (sjá mynd 3).

Allir þessir veggir voru sagaðir lóðrétt á þeim stað sem víbratornum var stungið niður í þeim tilgangi að sjónmeta hvort aðskilnaður hefði orðið í steypunni eftir að búið var að leggja hana niður og víbra (sjá mynd 6).

Á hverjum veggfleti var áætlaður fjöldi bólna stærri en 5 mm í þvermál. Úr hverjum vegg voru boraðir 5 kjarnar og mæld rúmþyngd..



Mynd 3. Veggir í áfanga þrjú, allir með sigmáli 250 mm. Vibrað var með bæði hátíðni- og venjulegum vibrator, annars vegar í 6 sek og hins vegar í 12 sek. Mjög lítið er af loftbólum á veggjunum.

Í lok tilraunarinnar var steypan bleytt upp í sigmál 280 mm og mælt loftinnihald. Það reyndist ekki breytast, hélt 8%.



2.4 Áfangi fjögur

Aðferð: steypan var vibruð niður í mót sem voru af stærðinni 50*60*12,5 cm með hefðbundnum vibrator. Steypugerð C25 var notuð, fyrst með sigmáli 110 mm og síðan bleytt með floti í sigmál 240 mm. Vibrað var mun meira en í fyrri áföngum. Vibrað var stutt í annan kassann 7 sek á stungu en lengi í þann næsta 22 sek á stungu. Vibrað var með tveim stungum í kassann.

Teknir voru sívalningar úr steypunni annars vegar á hefðbundinn hátt en hins vegar án vibrunar. Auk þess boraðir kjarnar úr veggjum til að mæla rúmþyngd, styrk og frostþol. Loftbólur í yfirborði taldar.

3.0 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

Eftir að borkjarnar og sívalningar höfðu harðnað í rakaklefa í 28 daga og 20°C var þrýstipól þeirra mælt. Þvermál borkjarna var 71 mm og voru sagaðir 20 mm af hvorum enda kjarnanna þannig að lengd þeirra var 140 mm þ.e hlutfall þvermáls/lengdar var einn á móti tveimur. Kjarna endar voru síðan slípaðir áður en þeir voru brotnir.

3.1 þrýstipól og rúmþyngd

Niðurstöður þrýstipóls og rúmþyngd sýnanna eru sýndar í töflum 1-6. Þrýstipól er gefið í MPa og rúmþyngd í kg/m³.

1. ÁFANGI 1

Tafla 1. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 1, sigmál 90 mm

| Hátíðni vibrator (1) | | | Venjulegur vibrator | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Kjarni röð | Vibrað rúmþ - þrýstipól | Óvibrað rúmþ - þrýstipól | Kjarni röð | Vibrað rúmþ - þrýstipól | Óvibrað rúmþ - þrýstipól |
| efsti | 2337 - 25 | 2327 - 27 | efsti | 2340 - 34 | 2336 - 29 |
| mið | 2342 - 34 | 2343 - 33 | mið | 2359 - 35 | 2324 - 29 |
| neðsti | 2368 - 32 | 2319 - 32 | neðsti | 2362 - 30 | 2344 - 33 |
| meðaltal | 2349 - 30,3 | 2330 - 30,7 | meðaltal | 2354 - 33 | 2335 - 30,3 |



Tafla 2. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 1, sigmál 220 mm

| Hátíðni vibrator (1) | | | Venjulegur vibrator | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Kjarni röð | Víbrað rúmþ - þrýstipól | Óvíbrað rúmþ - þrýstipól | Kjarni röð | Víbrað rúmþ - þrýstipól | Óvíbrað rúmþ - þrýstipól |
| efsti | 2310 - 29 | 2303 - 31 | efsti | 2323 - 25 | 2306 - 29 |
| mið | 2345 - 30 | 2313 - 24 | mið | 2372 - 34 | 2341 - 30 |
| neðsti | <u>2354 - 31</u> | <u>2366 - 33</u> | neðsti | <u>2344 - 30</u> | <u>2344 - 30</u> |
| meðaltal | 2336 - 30 | 2327 - 29,3 | meðaltal | 2346 - 29,7 | 2330 - 29,7 |

Tafla 3. Sívalningar 100x200 mm, áfangi 1

| Sigmál 90 mm | | | Sigmál 220 mm | | |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Kjarni | Pikkað rúmþ - þrýstipól | Ópikkað rúmþ - þrýstipól | Kjarni | Pikkað rúmþ - þrýstipól | Ópikkað rúmþ - þrýstipól |
| a | 2348 - 35,1 | 2342 - 24,7 | a | 2318 - 33,3 | 2319 - 35,1 |
| b | 2335 - 35,1 | 2282 - 25,7 | b | 2311 - 33,3 | 2285 - 36,1 |
| c | <u>2336 - 35,1</u> | <u>2322 - 18,1</u> | c | <u>2330 - 33,3</u> | <u>2305 - 33,3</u> |
| meðaltal | 2340 - 35,1 | 2315 - 22,8 | meðaltal | 2320 - 33,3 | 2303 - 34,8 |

2. ÁFANGI 2

Tafla 4. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 2, sigmál 220 mm

| Hátíðni vibrator (2) | | | Venjulegur vibrator | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Kjarni röð | Víbrað rúmþ - þrýstipól | Óvíbrað rúmþ - þrýstipól | Kjarni röð | Víbrað rúmþ - þrýstipól | Óvíbrað rúmþ - þrýstipól |
| efsti | 2241-28,7 | 2241-28,7 | efsti | 2312-35,1 | 2223-25,5 |
| neðsti | <u>2241-28,7</u> | <u>2241-30,9</u> | neðsti | <u>2295-33,0</u> | <u>2241-28,7</u> |
| meðaltal | 2241 - 28,7 | 2241 - 29,8 | meðaltal | 2304 - 34,1 | 2232 - 27,1 |

Hátíðni vibrator

Meðalstyrkur: 29,3 MPa
Staðalfrávik styrks: 1,1 MPa
Meðal rúmþyngd: 2241 kg/m³
Staðalfrávik rúmþyngd: 0 kg/m³

Venjulegur vibrator

29,4 MPa
4,3 MPa
2285 kg/m³
42,5 kg/m³



Tafla 5. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 2, sigmál 245 mm

| Hátíðni vibrator (2) | | | Venjulegur vibrator | | |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------|
| Kjarni röð | Víbrað rúmþ - þrýstiþol | Óvíbrað rúmþ - þrýstiþol | Kjarni röð | Víbrað rúmþ - þrýstiþol | Óvíbrað rúmþ - þrýstiþol |
| efsti | 2241-28,7 | 2223-29,8 | efsti | 2241-27,7 | 2241-26,6 |
| neðsti | <u>2241-29,8</u> | <u>2223-25,5</u> | neðsti | <u>2223-26,6</u> | <u>2241-28,7</u> |
| meðaltal | 2241 – 29,3 | 2223 – 27,7 | meðaltal | 2232 – 27,2 | 2241 – 27,7 |

Hátíðni vibrator

Meðalstyrkur: 28,5 MPa
Staðalfrávik styrks: 2,0 MPa
Meðal rúmþyngd: 2241 kg/m³
Staðalafrávik rúmþyngd: 0 kg/m³

Venjulegur vibrator

27,8 MPa
1,0 MPa
2285 kg/m³
42,5 kg/m³

Tafla 6. Sívalningar 100x200 mm, áfangi 2

| Sigmál 220 mm | | | Sigmál 245 mm | | |
|-----------------|---------------|----------------------------|-----------------|---------------|----------------------------|
| Kjarni | Þrýstiþol MPa | Rúmþyngd kg/m ² | Kjarni | Þrýstiþol MPa | Rúmþyngd kg/m ² |
| a | 31,4 | 2298 | a | 33,3 | 2258 |
| b | 32,3 | 2293 | b | 34,3 | 2254 |
| c | <u>34,3</u> | <u>2295</u> | c | <u>28,7</u> | <u>2257</u> |
| meðaltal | 32,7 | 2295 | meðaltal | 32,1 | 2256 |

3. ÁFANGI 3

Tafla 7. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 3, sigmál 220 mm

| Hátíðni vibrator | | | Venjulegur vibrator | | |
|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Kjarni Röð | Víbrað 6 sek rúmþ kg/m ³ | Vibrað 12 sek rúmþ kg/m ³ | Kjarni röð | Víbrað 6 sek rúmþ kg/m ³ | Vibrað 12 sek rúmþ kg/m ³ |
| Efst vibrað | 2193 | 2168 | Efst vibrað | 2142 | 2160 |
| Mið vibrað | 2248 | 2317 | Mið vibrað | 2261 | 2403 |
| Neðst vibrað | 2298 | 2370 | Neðst vibrað | 2314 | 2412 |
| Óvíbrað, neðan | 2261 | 2319 | Óvíbrað, neðan | 2261 | 2319 |
| Óvíbrað ofan | 2202 | 2271 | Óvíbrað ofan | 2237 | 2288 |
| Meðaltal | 2239 | 2289 | Meðaltal | 2243 | 2316 |
| Staðalfrávik | 42 | 76 | Staðalfrávik | 63 | 103 |



4. ÁFANGI 4

Tafla 8. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 4, sigmál 110 mm

| Sigmál 110 mm, lítið vibrað | | | Sigmál 110 mm, mikið vibrað | | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|
| Kjarni | Þrýstiþol MPa | Rúmþyngd kg/m ² | Kjarni | Þrýstiþol MPa | Rúmþyngd kg/m ² |
| a niðri | | 2280 | a | | 2275 |
| b neðarlega | | 2240 | b | 44 | 2320 |
| c ofarlega | | 2196 | c | 41,7 | 2333 |
| d efst | | 2196 | d | | 2300 |
| e ofarlega | | 2245 | e | | 2306 |
| f ofarlega | 34,1 | 2196 | f | 38,8 | 2265 |
| g neðarlega | | 2286 | g | | 2294 |
| h neðarlega | | 2245 | h | 44,1 | 2320 |
| meðaltal | 34,1 | 2236 | meðaltal | 40,9 | 2302 |
| staðalfrávik | | 36,7 | meðaltal | | 23,3 |

Tafla 9. Borkjarnar úr veggjum, áfangi 4, sigmál 240 mm

| Sigmál 240 mm, lítið vibrað | | | Sigmál 240 mm, mikið vibrað | | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|
| Kjarni | Þrýstiþol MPa | Rúmþyngd kg/m ² | Kjarni | Þrýstiþol MPa | Rúmþyngd kg/m ² |
| a niðri | | 2216 | a | | 2339 |
| b neðarlega | | 2212 | b | | 2323 |
| c ofarlega | | 2255 | c | | 2300 |
| d efst | 31,2 | 2220 | d | | 2141 |
| e ofarlega | | 2196 | e | | 2360 |
| f ofarlega | | 2188 | f | | 2290 |
| g neðarlega | | 2201 | g | 41,2 | 2345 |
| h neðarlega | | 2184 | h | | 2290 |
| meðaltal | 31,2 | 2209 | meðaltal | 41,2 | 2299 |
| staðalfrávik | | 22,7 | staðalfrávik | | 68,8 |

Tafla 10. Sívalningar 100x200 mm, áfangi 4

| Sigmál 110 mm | | | Sigmál 240 mm | | |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|
| Kjarni | Pikkað rúmþ - þrýstiþol | Ópikkað rúmþ - þrýstiþol | Kjarni | Pikkað rúmþ - þrýstiþol | Ópikkað rúmþ - þrýstiþol |
| meðaltal | 2260 – 32,7 | 2222 – 26,9 | meðaltal | 2220 – 30,9 | 2149 – 29,4 |



3.2 Fjöldi loftbólna á flötum

Á hverjum veggfleti var talinn fjöldi bólna stærri en 5 mm í þvermál. Hver veggur var skoðaður báðu megin og tekið meðaltal af þeim niðurstöðum. Hver veggflötur er 0,3 m² þannig að fjöldi bólna er talinn sem eining á m². Niðurstöður eru sýndar í töflu 11.

Tafla 11. Fjöldi loftbólna á veggflötum, áfangar 1, 2, 3 og 4

| Áfangi 1 Sigmál 90 mm | | Áfangi 1 Sigmál 220 mm | |
|---|-------------------------------------|--|-------------------------------------|
| Hátíðni víbrator (1) Fjöldi bólna | Venjulegur víbrator Fjöldi bólna | Hátíðni víbrator (1) Fjöldi bólna | Venjulegur víbrator Fjöldi bólna |
| 300 | 300 | 100 | 103 |
| Áfangi 2 Sigmál 220 mm | | Áfangi 2 Sigmál 245 mm | |
| Hátíðni víbrator (2) Fjöldi bólna | Venjulegur víbrator Fjöldi bólna | Hátíðni víbrator (2) Fjöldi bólna | Venjulegur víbrator Fjöldi bólna |
| 133 | 140 | 117 | 143 |
| Áfangi 3 Sigmál 250 mm. Víbrað í 6 sek | | Áfangi 3 Sigmál 250 mm. Víbrað í 12 sek | |
| Hátíðni víbrator (2) Fjöldi bólna | Venjulegur víbrator Fjöldi bólna | Hátíðni víbrator (2) Fjöldi bólna | Venjulegur víbrator Fjöldi bólna |
| 17 | 27 | 13 | 16 |
| Áfangi 4 Sigmál 110 mm. | | Áfangi 4 Sigmál 240 mm. | |
| Vibrað í 7 sek Fjöldi bólna | Vibrað í 22 sek Fjöldi bólna | Vibrað í 7 sek Fjöldi bólna | Vibrað í 22 sek Fjöldi bólna |
| 47 | 18 | 16 | 8 |

3.3 Mat á aðskilnaði

Eins og áður kom fram voru veggir í öllum áföngum sagaðir lóðrétt í þeim tilgangi að sjónmeta hvort sýnilegur aðskilnaður væri í þversniði veggjanna. Sagað var þeim megin sem víbratorunum var stungið niður í veggina. Ekki var unnt að greina neinn afgerandi aðskilnað í veggjum í áföngum 1 og 2 nema hvað vottar fyrir aðskilnaði efst í vegg úr fyrsta áfanga, en sá veggur var með sigmáli 220 mm og víbraður með hátíðni víbrator.



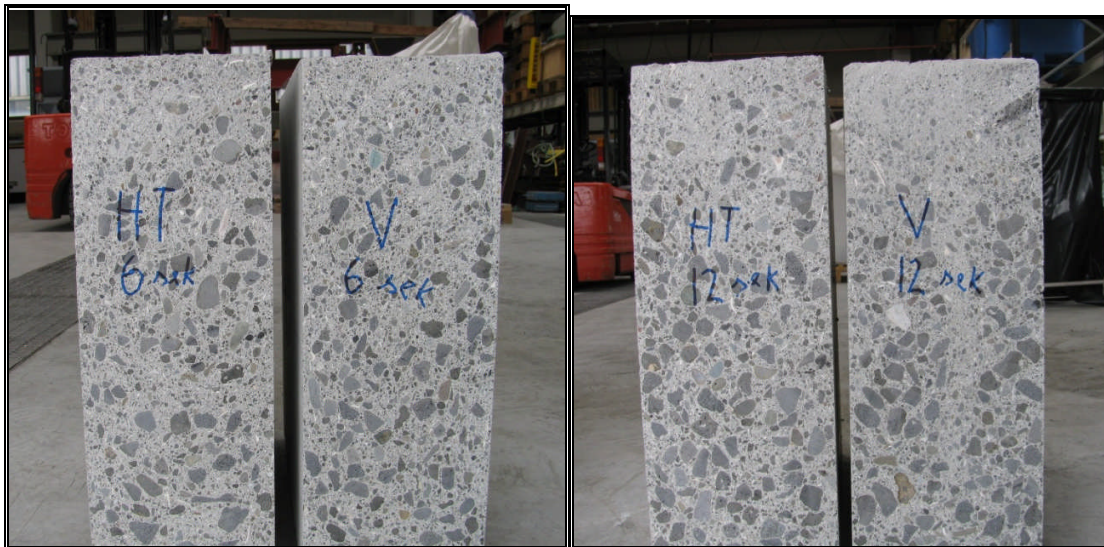
Greinilegur aðskilnaður er hins vegar efst í veggjum í þriðja áfanga (sigmál 250 mm) og umtalsvert meiri í þeim veggjum sem voru víbraðir í 12 sek í stað 6 sek. Þetta má sjá nánar á myndum 4, 5, og 6.



Mynd 4. Myndin sýnir veggina í áfanga eitt. Veggirnir eru með sigmáli 220. "V" stendur fyrir venjulegur víbrator og "HT" fyrir hátíðni víbrator. Ekki er unnt að greina neinn afgerandi aðskilnað í vegg "V" en þó vantar stærri fylliefn að hluta til efst í vegg "HT".



Mynd 5. Myndin sýnir veggina í áfanga tvö. Veggirnir vinstra megin eru með sigmáli 220 mm og veggirnir hægra megin með sigmáli 245 mm. "V" stendur fyrir venjulegur víbrator og "HT" fyrir hátíðni víbrator. Ekki er unnt að greina neinn afgerandi aðskilnað í veggjunum.



Mynd 6. Myndin sýnir veggina í áfanga þrjú. Allir veggirnir eru með sigmáli 250 mm. Veggirnir vinstra megin eru víbraðir í 6 sek og veggirnir hægra megin eru víbraðir í 12 sek. Greinilegur aðskilnaður er efst í þessum veggjum, sérstaklega þeim sem voru víbraðir í 12 sek.

3.4 Áhrif vibrunar á frostþol og loftdreifingu

Í áfanga 4 voru boraðir kjarnar úr veggjum og smásjárskoðað loft og mælt frostþol steypunnar á nokkrum stöðum í veggjunum.

Tafla 12. Borkjarnar úr áfanga 4

| | Sigmál 110 mm, lítið vibrað | | | Sigmál 110 mm, mikið vibrað | | | |
|--------|-----------------------------|---------------------------|--|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|--|
| Kjarni | Rúmþ. kg/m ³ | Fjarl.- stuðull, mm | Frostþol 56 umf., kg/m ² | Kjarni | Rúmþ. kg/m ³ | Fjarl.- stuðull, mm | Frostþol 56 umf., kg/m ² |
| Efst | 2163 | | 0,47 | Efst | 2178 | | 1,45 |
| Miðju | 2172 | 0,14 | | Miðju | 2190 | 0,11 | |
| Neðst | 2186 | | 0,41 | Neðst | 2224 | | 0,62 |

Frostþolsmæling úr þjöppuðum sívalning úr sömu steypublöndu með sigmál 110 mm: 0,43 kg/m² eftir 56 umferðir.



Tafla 13. Borkjarnar úr áfanga 4

| Kjarni | Sigmál 240 mm, lítið vibrað | | | Kjarni | Sigmál 240 mm, mikið vibrað | | |
|--------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | Rúmþ. kg/m ³ | Fjarl.- stuðull mm | Frostþol 56 umf kg/m ² | | Rúmþ. kg/m ³ | Fjarl.- stuðull mm | Frostþol 56 umf kg/m ² |
| Efst | 2162 | | 1,93 | Efst | 2247 | 0,15 | |
| Miðju | 2218 | 0,14 | | Miðju | 2272 | 0,17 | 0,96 |
| Neðst | 2208 | | 0,42 | Neðst | 2350 | | 0,79 |

Frostþolsmæling úr þjöppuðum sívalning úr sömu steypublöndu með sigmál 240mm: 0,19 kg/m² eftir 56 umferðir.

4.0 MAT Á NIÐURSTÖÐUM

4.1 Aðskilnaður við hátt sigmál

Tilgangur með því að bora kjarna úr veggjunum var sá að mæla þrýstipól þeirra og rúmþyngd og fá þannig fram (óbeint) mat á aðskilnaði í steypunni. Aðskilnaður fylliefna ætti að koma fram í rúmþyngd og þrýstipóli kjarnanna ef verulegur munur væri á stærð fylliefna í þeim. Þegar niðurstöður mælinga á borkjörnum sem voru teknir úr veggjunum eru skoðaðar kemur ekki fram nein regla á rúmþyngd eða þrýstipóli kjarnanna eftir því hvar þeir eru teknir, þ.e. efst, í miðju, eða neðst í veggjunum. Ekki verður heldur séð að marktækur munur sé milli þess hvort víbrað var með venjulegum víbrator eða hátíðnivíbrator.

Aðskilnaður fylliefna í sementsefju var metinn með því að skoða þversnið veggjanna eftir að búið var að saga þá hornrétt á yfirborðið. Ekki er hægt að greina neinn óeðlilegan aðskilnað í veggjum í 1 og 2 áfanga en þeir veggir voru með sigmáli 220 og 245 mm. Allir þessir veggir voru víbraðir í 5-6 sek.

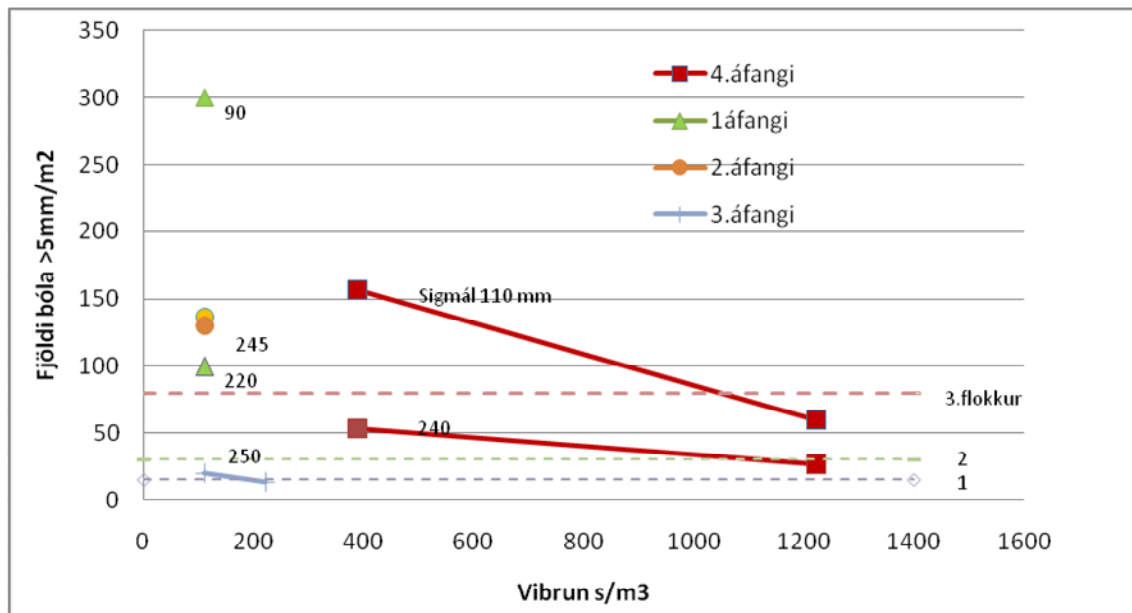
Í þriðja áfanga kemur hins vegar fram greinilegur aðskilnaður efst í veggjunum, bæði í þeim veggjum sem voru víbraðir í 6 sek og enn meiri aðskilnaður ef víbrunartími var aukinn í 12 sek. Sigmál í öllum þessum veggjum var 250 mm. Einnig virðist sem heldur meiri aðskilnaður sé efst í þeim veggjum sem voru víbraðir með venjulegum víbrator. Í fjórða áfanga kemur einnig fram veruleg aðgreining einkum við sigmál 240 og mikla víbrun.

Þær ályktanir sem helst má draga af þessari rannsókn eru þær að ekki virðist vera sérstök ástæða til að óttast aðskilnað fylliefna í venjulegri steypu þótt sigmál hennar fari yfir 200 og jafnvel 220 mm svo fremur að aðgát sé höfð við víbrun á henni. Hins vegar kom fram það afgerandi aðskilnaður í steypu með sigmáli 250 mm, jafnvel þó hún væri tiltölulega lítið víbruð, að svo hátt sigmál er klárlega yfir þeim mörkum að óhætt sé að leggja steypuna í vaggi. Skiptir þá ekki máli hvort víbrað er með venjulegum víbrator eða hátíðnivíbrator.

4.2 Loftbólur á yfirborði

Fjöldi loftbólna stærri en 5 mm í þvermál var talinn á öllum veggflötum. Á mynd 7 má sjá áhrif sigmáls og vibrunarorku á loftbólur. Eftir því sem steypa er blautari og vibruð meira því minni eru loftbólurnar. Þarf að ganga tiltölulega langt til að láta þær fara undir ströngustu mörk. Þess ber þó að geta að auðveldara er að ná bólum úr sterkari steypum og einnig er á markaðnum sérsteypa fyrir sjónsteypu.

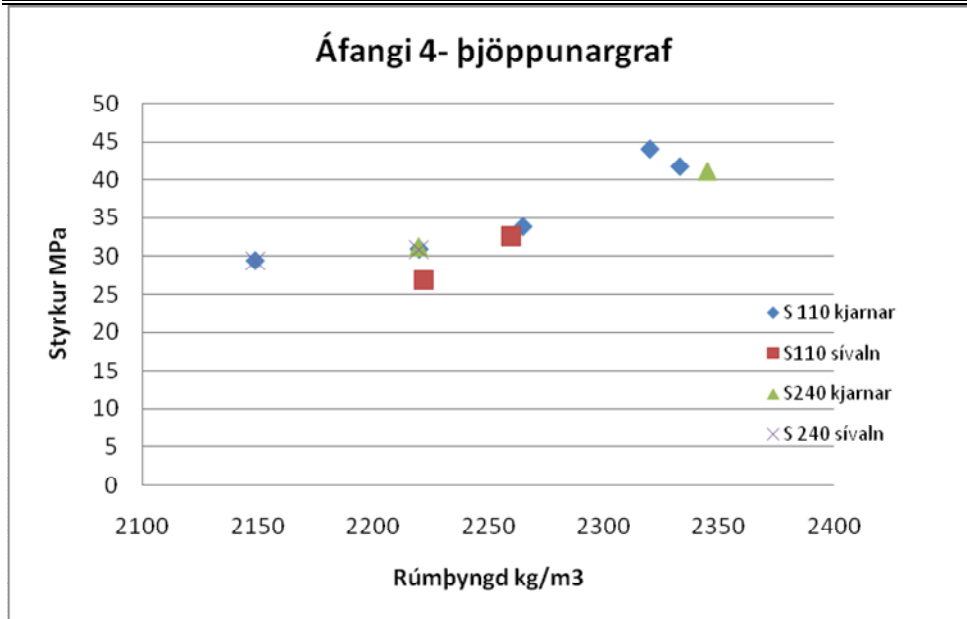
Eins og við mátti búast voru mun fleiri loftbólur á veggjum með lægsta sigmálinu (sigmál 90 mm) heldur en á veggjum með hærra sigmáli. Það sem helst kemur á óvart er hversu afgerandi munur er á fjölda loftbólna milli veggja í áfanga 2 og 3 þrátt fyrir að tiltölulega lítill munur hafi verið á sigmáli steypunnar sem var sett í þá. Hins vegar er ekki marktækur munur á fjölda loftbólna á hverju veggjapari hvort heldur var víbrað með venjulegum víbrator eða hátíðnivíbrator.



Mynd 7. Myndin sýnir samband vibrunartíma og fjölda loftbólna á veggfleti við mismunandi sigmál.

4.3 Áhrif þjöppunar á styrk steypunnar

Aukin þjöppun og þar með hærri rúmþyngd eykur styrk steypunnar. Á mynd 8 má sjá samband rúmþyngdar og styrks í áfanga 4.

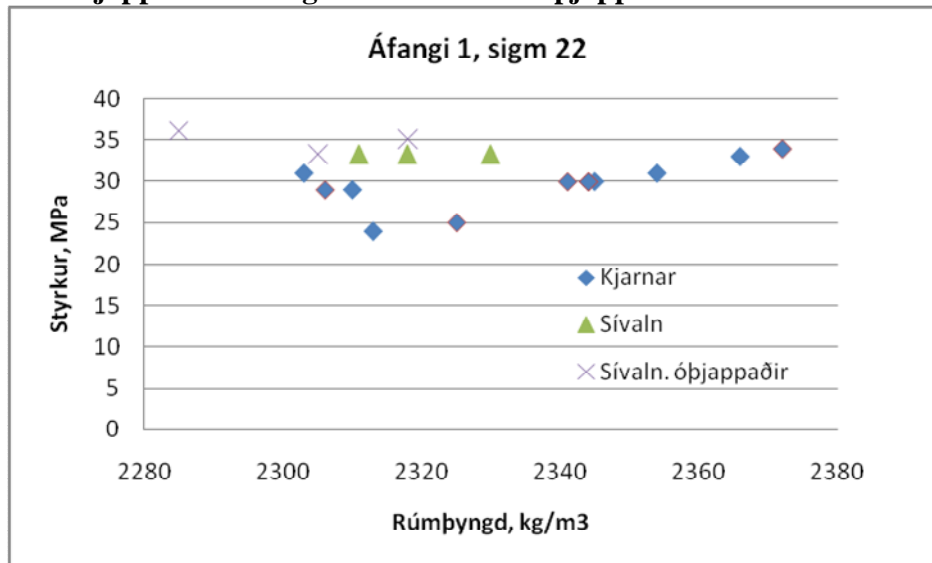


Mynd 8. Myndin sýnir samband þrýstipól og rúmþyngdar.

4.4 Samanburður sívalninga og kjarna

Áhugavert er að bera saman niðurstöður úr sívalningatöku og úr kjörnum sem teknir eru úr veggjunum eftir vibrun. Þeir gefa til kynna hvort venjulegar sýnatökur séu marktækar fyrir mannvirkið. Tvennt þarf að athuga. Í fyrsta lagi þjöppun í sívalninga samanborið við þjöppun frá vibrator. Þetta er hægt að meta frá rúmþyngd steypunnar. En í annan stað er nákvæmni brotniðurstaðna úr kjörnum samanborið við sívalninga. Í stöðlum er reiknað með að þar megi reikna með að kjarnar hafi 85 % styrk mv sívalninga sem teknir eru á hefðbundinn hátt.

4.4.1 Þjöppun sívalninga samanborið við þjöppun með vibrator



Mynd 9. Myndin sýnir rúmþyngd og þrýstipól borkjarna samanborið við sívalninga.

Nokkuð misvísandi niðurstöður fengust. Í áfanga 1 þar sem notuð var aðeins 100 sek vibrun á m³ var steypan í veggnum með sömu þjöppun að meðaltali og sívalningarnir þegar sigmálið var 90 mm en þjöppunin var mun meiri í veggnum að meðaltali þegar sigmálið var 240 mm. Frávikin voru hins vegar mikil í veggnum eins og sjá má á mynd.

En í áfanga 2 var þjöppunin í veggnum lakari en í sívalningunum við sömu vibrun þrátt fyrir hátt sigmál. Og í áfanga 4 gaf 400 sek/m³ vibrunin heldur lakari rúmþyngd í veggnum en í sívalningnum að meðaltali en 800 sek/m³ vibrunin gaf mun meiri vibrun en hefðbundin sívalningaþjöppun.

4.4.2 Brotniðurstöður kjarna samanborið við hefðbunda sívalninga

Í áfanga 1 og 2 er styrkur kjarnanna 86 til 90 % af styrk sívalninganna en í áfanga 4 eru kjarnarnir með sambærilegan styrk og sívalningar þegar tekið hefur verið tillit til rúmþyngdar. Augljóst að vanda þarf mikið til vinnu við kjarnanna til að þeir séu eins og steypir sívalningar. Því eru viðmið staðla um að þeir séu 85% af steypum sívalningum eðlileg.

4.5 Hátíðni og venjulegir vibratorar

Hátíðnivibratorar eiga að aðgreina steypuna minna en venjulegir vibratorar en á móti hefur því verið haldið fram að þeir séu kraftminni og þjappi steypuna minna. Notaðir voru tvenns konar hátíðnivibratorar. Vibratorinn sem notaður var í 1. áfanga þótti ekki nógu sannfærandi og var skipt í annan vibrator í áfanga 2 og 3.



4.5.1 Þjöppun

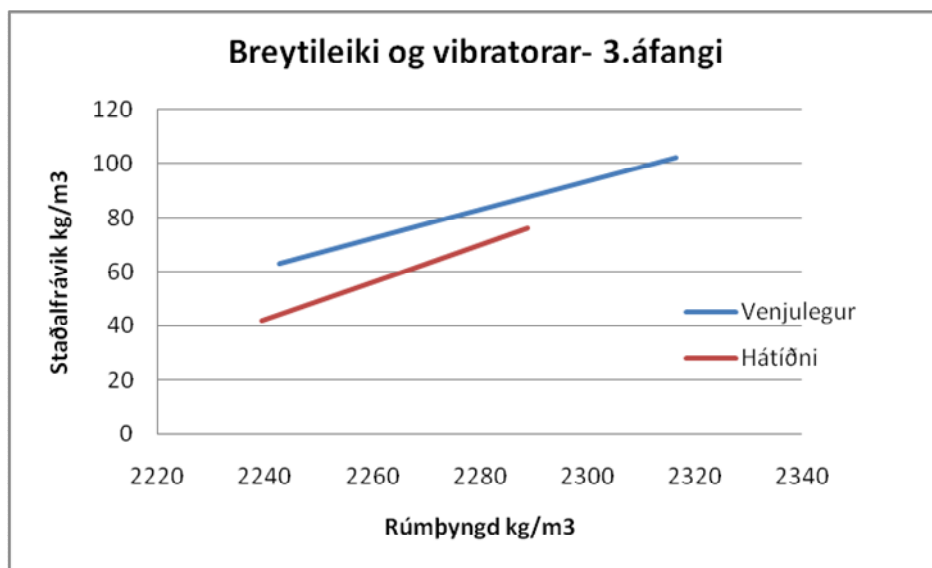
Til að meta þjöppun vibratoranna er litið á rúmþyngd og styrk steypu sem þjöppuð er með mismunandi vibratorum

Frá rúmþyngd sívalninganna og styrk sést að heldur meiri þjöppun fæst með venjulega vibratornum en með hátíðnitornum.

4.5.2 Aðgreining

Sjónmat og rúmþyngd og styrkdreifing er notuð til að meta einsleitni steypunnar. Það var aðeins í áfanga 3 og áfanga 4 sem kemur fram veruleg aðgreining í steypunni. Greinilegt var að það átti sér stað bæði þar sem var vibrað með hátíðni og venjulegum. Virtist þó heldur minna í hátíðnivibratornum.

Venjulegi vibratorinn gefur meiri þjöppun en hátíðnivibratorinn en staðalfrávik niðurstaðnanna bendir til að hann aðgreini steypuna meira. Skýringin er ekki eingöngu meiri þjöppun því hann staðalfrávikid er einnig meira við sömu þjöppun (sjá mynd 9). Þó er ljóst að aðgreining hverfur ekki við við notkun hátíðnivibratora.



Mynd 9. Myndin sýnir breytileika á rúmþyngd steypu í veggjunum eftir gerð vibratora. Hátíðnivibrator gefur minni breytileika en venjulegur vibrator.



4.6 Áhrif vibrunar á frostþol

Eins og sjá má á niðurstöðum í áfanga 4 veldur aðgreining vegna vibrunar miklum sveiflum í frostþoli. Frostþol er í lagi við hefðbundna vibrun (400 sek/m³) í stífri steypu en þegar steypa er blaut og mikið vibrað (800sek/m³) verður flögnunin allt að tífold það sem hún er við hefðbundna mælingu. Loftdreifing breytist lítið svo reikna má með að sveiflan sé vegna aðgreiningar steypunnar. Þess ber þó að geta að í áfanga 4 var mun meira vibrað en gert var í hinum áföngunum.

5.0 Samantekt

- Það er augljóst út frá niðurstöðum þessarar rannsóknar að vibrun steypunnar hefur mjög mikil áhrif á endanleg gæði hennar. Til að ná fullum styrk, án steypuhreiðra þarf töluverða vibrun, en ef steypa er vibruð of mikið á sér stað aðgreining sem veldur m.a. skertu frostþoli hennar og líklega veikleika í efsta hluta veggjar sem í sumum tilvikum væri æskilegt að hreinsa burt.
- Styrkur sívalninga gefur þokkalega mynd af styrk steypunnar í mannvirkinu. Töluverðra sveifla er þó að vænta.
- Kjarnar höfðu frá 85 til 100 % af styrk steyptra staðlaðra sívalninga Augljóst að vanda þarf mikið til vinnu við kjarnanna til að þeir séu eins og steyptir sívalningar. Því eru viðmið staðla um að þeir séu 85 % af steypum sívalningum eðlileg (t.d ÍST EN 13791:2007)
- Hægt er að leggja niður steypu í sigmáli 200 til 220 án aðgreiningar. Lykilatriði er þó að vibrun sé aðlöguð að bleytu steypunnar, enda má lítið út af bregða varðandi vibrun og hér er ekki tekið tillit til falls steypu. Stíf steypa sé vibruð meir en blaut.
- Þótt steypa væri bleytt í 280 mm hélt hún stöðugu loftinnihaldi.
- Svo virðist sem hátíðnivibratorar séu heldur kraftminni en venjulegir vibratorar. Þeir hafa hins vegar skv. rannsókninni heldur minni tilhneigingu til að aðgreina steypuna. Vanda þarf þó val þeirra.
- Að losna við loftbólur og fá fallega sjónsteypu er auðveldast með blautri steypu og mikilli vibrun. Í venjulegri C25 steypu hefur átt sér stað aðgreining þegar bólur eru komnar undir mörk. Nauðsynlegt er því að nota í sjónsteypu sérhannaða steypu.

Framtíðarverkefni:

Hafa ber í huga að steyp var í litla vegg og er alls ekki ólíklegt að skýrari niðurstöður fáiast ef steyp væri í stærri vegg. M.a. sjá afleiðingar aðgreiningar þegar steypa dettur í há mót. Athuga hvort skiptir máli að steypa í lögum. Einnig þyrfti að finna mælikvarða á hve mikið á að vibra og athuga styrk og einleitni steypu í plötur